

A magyar tudomány Achilles-sarka: a klímakutatás

Szépszó Gabriella

*Országos Meteorológiai Szolgálat
Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály*



2008. január 24.

TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

TARTALOM

- **Bevezetés**
- **Globális trendek (IPCC)**
- **Az éghajlati rendszer**
- **Az éghajlati modellezés alapjai**
- **Regionális klímamodellezés**
- **Összefoglalás**

Bevezetés, motiváció

- *A klímaváltozás témája nagy „érdeklődésre” tart számot*
- *Éghajlatváltozás vagy éghajlatingadozás?*
- *Mennyiben okolható az egyre növekvő emberi beavatkozás?*
- *Előrejelezhetők-e a változások?*
- *Milyen kapcsolat van a globális és regionális változások között?*

Népszerű tévhitek I.

- *Egyedi szélsőséges időjárási eseményeket a klímaváltozás jeleként értékelünk – pl. 2006. augusztus 20.*
- *Egyes időjárási események alapján következtetést vonunk le az éghajlatváltozás várható tendenciára vonatkozóan – pl. tavalyi meleg tél*

Az éghajlat az éghajlati rendszer hosszú idő (alap: 30 év) folyamán tanúsított szokásos viselkedése – néhány időjárási esemény alapján nem vonhatunk le következtetéseket sem a jelen állapotra, sem a jövőbeli tendenciákra vonatkozóan.

Népszerű tévhitek II.

- *Párhuzamot vonunk különböző területek (városok) éghajlata között – pl. Európa – Szibéria, Budapest – Várna, Firenze?*

Egy adott terület (kontinens!) éghajlatát számos tényező (földrajzi elhelyezkedés, domborzati viszonyok, stb.) határozza meg. Az éghajlati jellemzők egy-egy vonása (pl. éves csapadékösszeg) megegyezhet, de ilyen típusú kategorikus kijelentések megfogalmazása nem célszerű.

Népszerű tévhitek III.

- *Félelemkeltés, katasztrófavárás – pl. Golf-áramlat leállása*

Jelenleg csak a lehetőségeket vagyunk képesek felvázolni – a legpesszimistább alternatíva is csak egy a lehetőségek közül.

TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

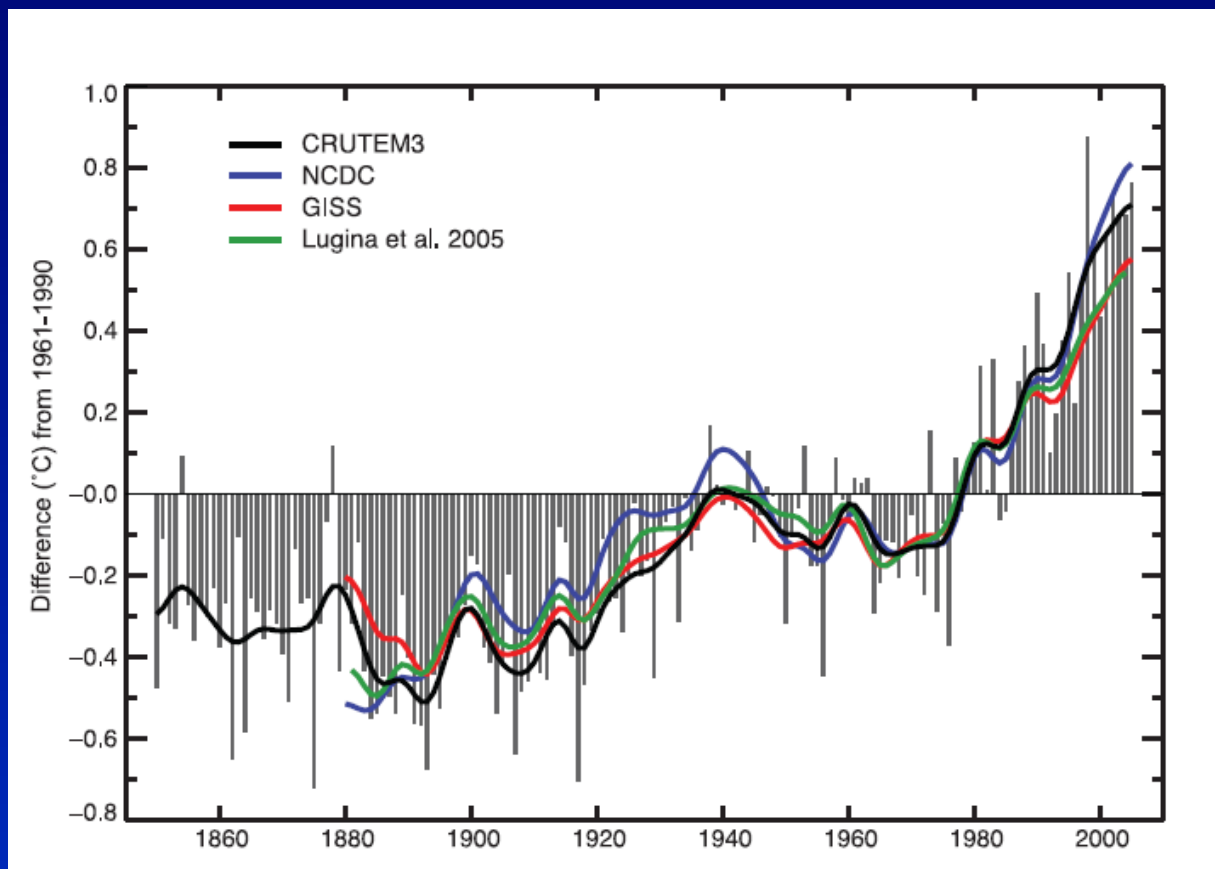
Éghajlatváltozás az IPCC jelentések tükrében

- *Intergovernmental Panel on Climate Change – politikától független kormányközi testület*
- *Több ezer kutató munkájának figyelembevételével kialakított **konszenzusos** álláspont*
- *4-6 évente jelentések készítése – legutóbbi nyilvános jelentés 2007-ben*
- *Magyar nyelvű döntéshozói összefoglaló az OMSZ honlapján: http://www.met.hu/pages/ipcc/ipcc_eghajlatvaltozas_2007.pdf*

Az utóbbi jelentések legfontosabb megállapításai:

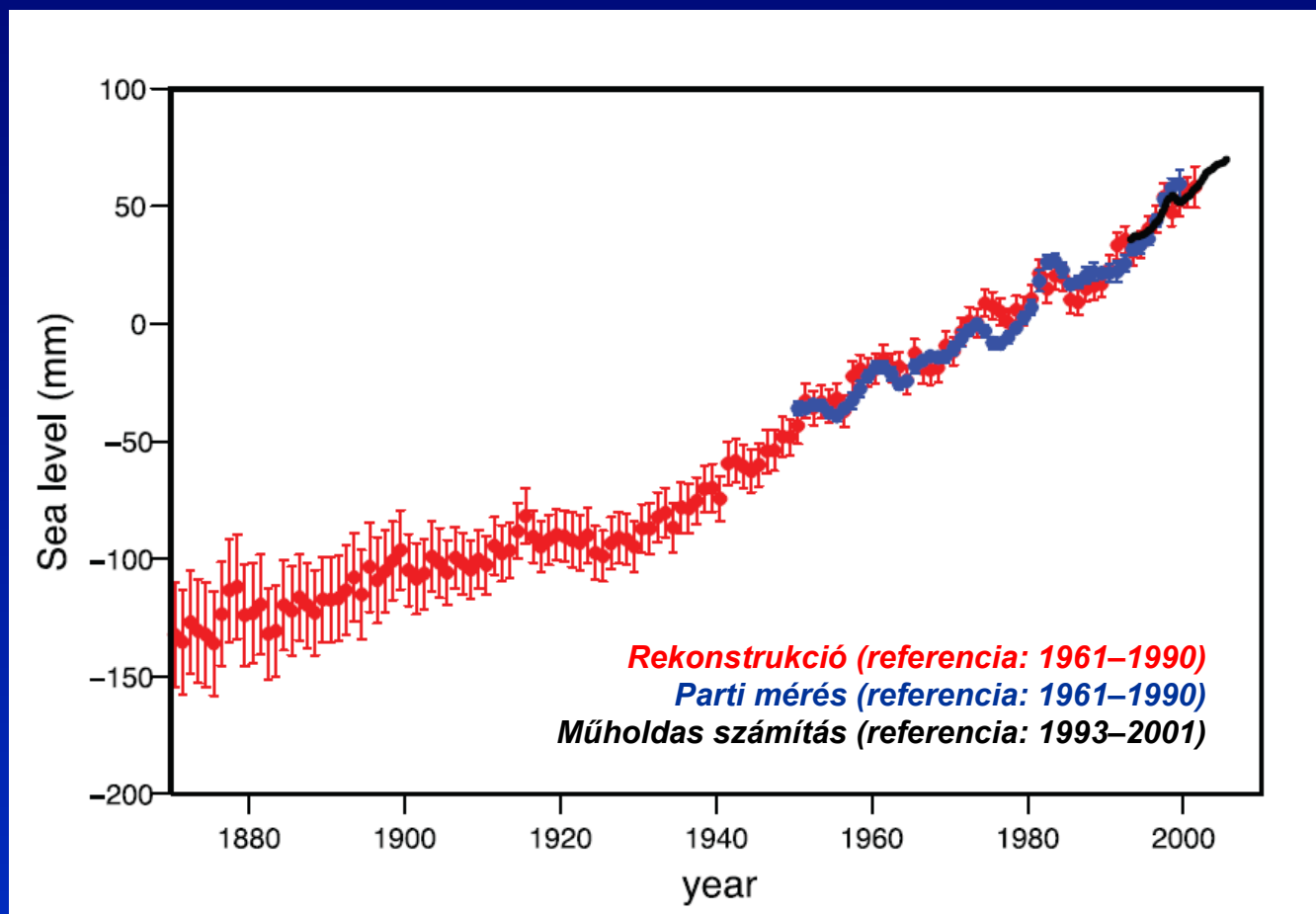
- A globális felszínhőmérséklet emelkedésének mértéke 0.56-0.92 °C volt az elmúlt 100 évben (1906–2005)*
- A légkör kémiai összetétele megváltozott – oka: a légkörbe jutó szennyezőanyagok, üvegházgázok koncentrációjának növekedése – a sugárzási kényszer pontosabb ismerete*
- Egyértelmű kapcsolat az üvegházgázok és a melegedés között*
- Az évszázad végére várható globális hőmérsékletnövekedés 1.1-6.4 °C*
- A század végére várható tengerszint-emelkedés 0.18-0.59 m*

Globális hőmérsékletváltozás



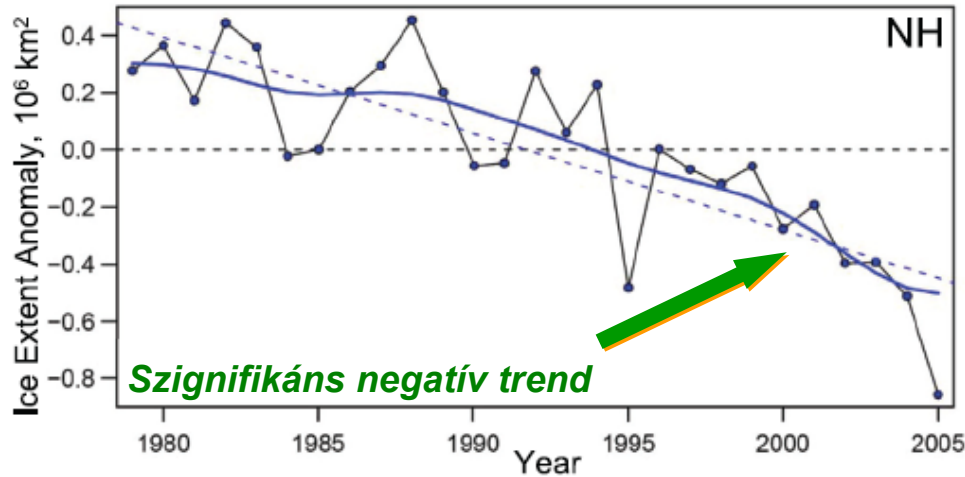
Forrás: IPCC, AR4

Az óceánok átlagos vízszintjének változása



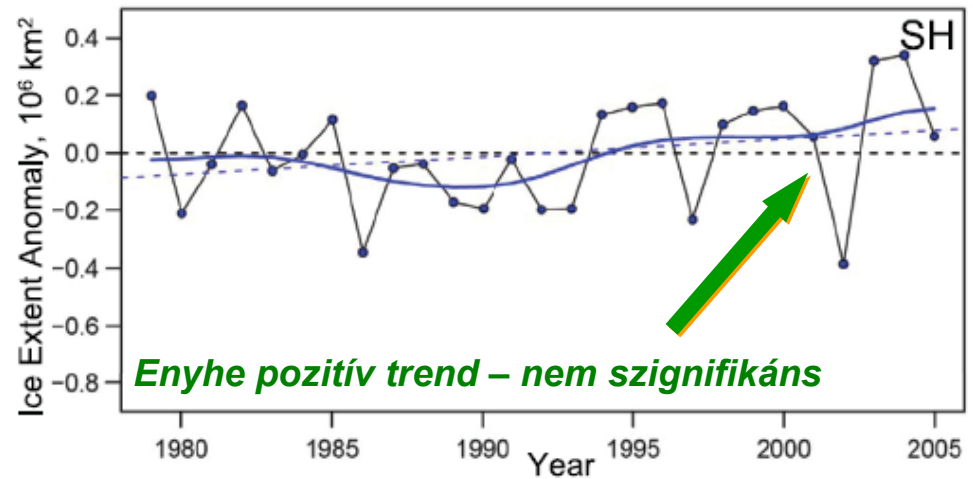
Forrás: IPCC, AR4

A jégmennyiség változása



← Északi félteke

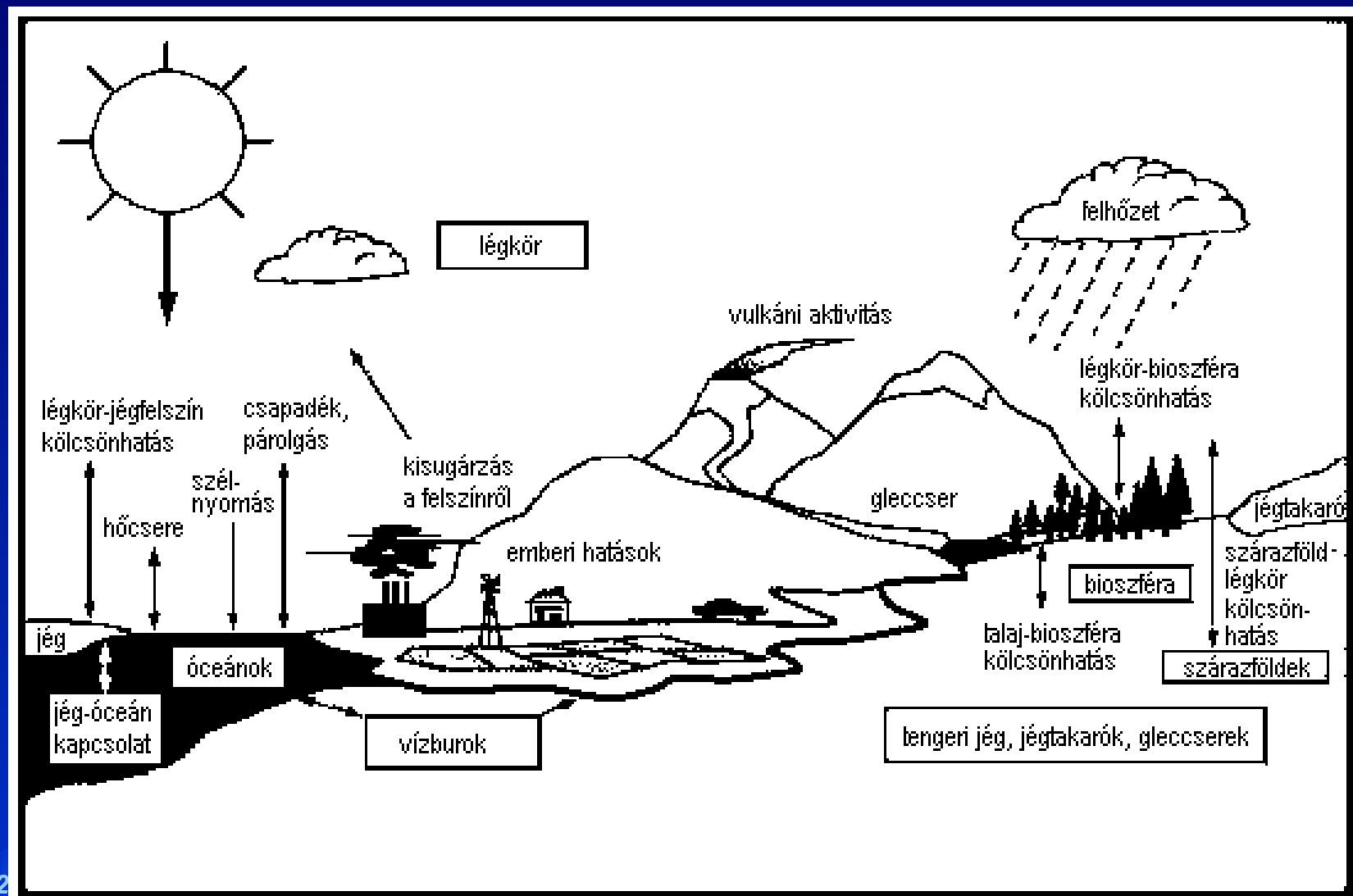
Déli félteke →



TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

Az éghajlati rendszer elemei



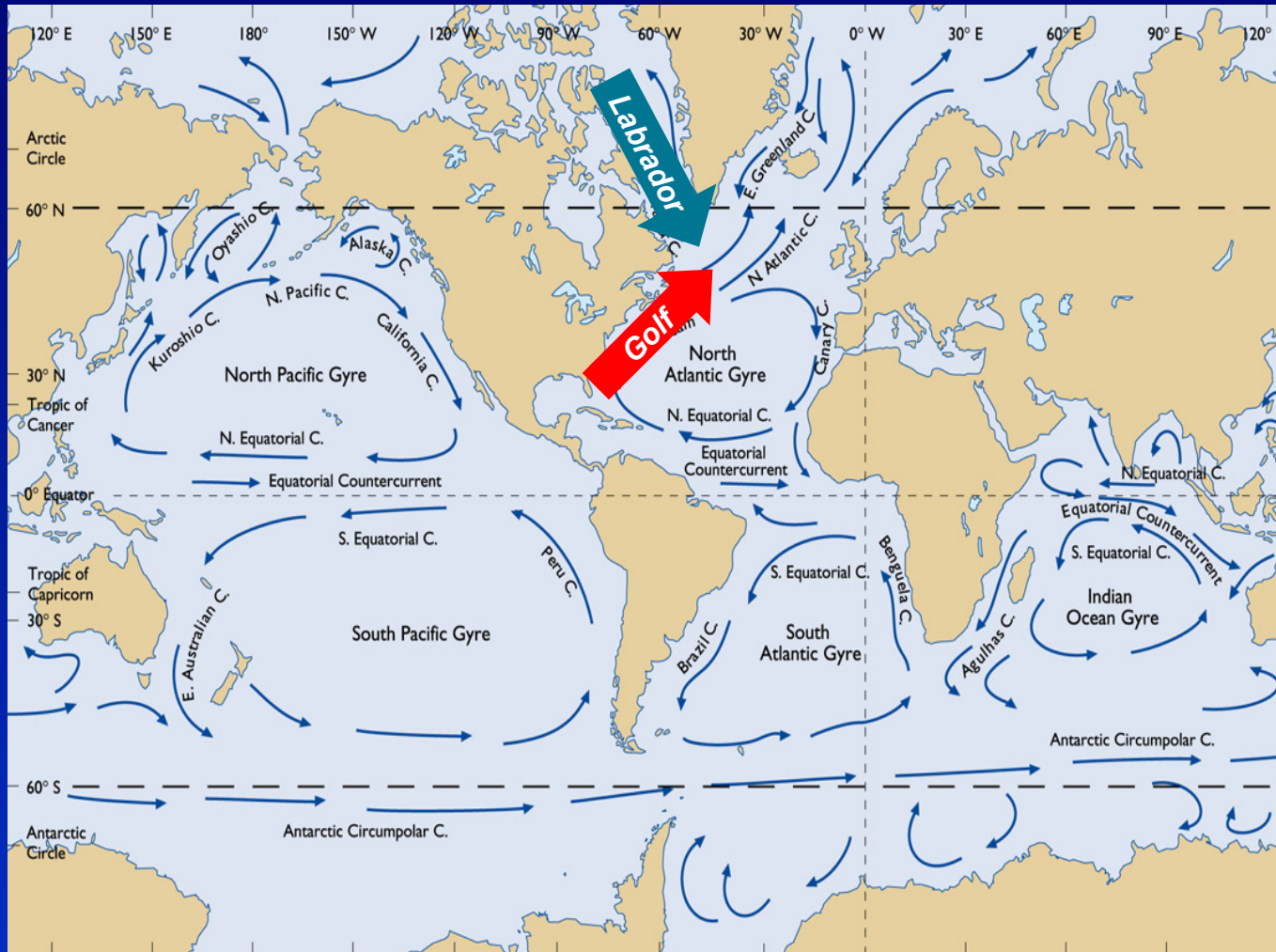
- **Éghajlati rendszer:** a légkör és a vele érintkezésben levő négy geoszféra (hidroszféra, krioszféra, kontinentális felszín és bioszféra) **kölcsönhatásban álló** együttese
- **Légkör:** az éghajlati rendszer központi, leginkább instabilis és legnagyobb változékonyságú komponense
 - Üvegházhatású gázok
 - Szilárd és cseppfolyós részecskék
 - Felhők
- **Hidroszféra:** az összes felszíni és felszín alatti víz
 - Nagy hőkapacitás, tehetetlenség
 - Szén-dioxid nyelő
 - Termohalin cirkuláció



- **Krioszféra**: sarki jégmezők, gleccserek, felszíni hó, tengerjég
 - Beérkező sugárzás visszaverése
 - Mélytengeri cirkuláció kormányzása
- **Kontinentális felszín**
 - Vegetáció és talajfelszín hatása
 - Érdesség
 - Aeroszolok forrása
- **Bioszféra**: az élet színtere a Földön
 - Növényi populáció (tenger és szárazföld)
 - Befolyásolja az üvegházgázok biokémiai körforgalmát



A felszíni tengeráramlatok rendszere



Alapfogalmak

Időjárás:

- A **légkör** egy adott időponthoz tartozó pillanatnyi **állapota**
- Jellemzése: a meteorológiai paraméterek pillanatnyi értékeivel

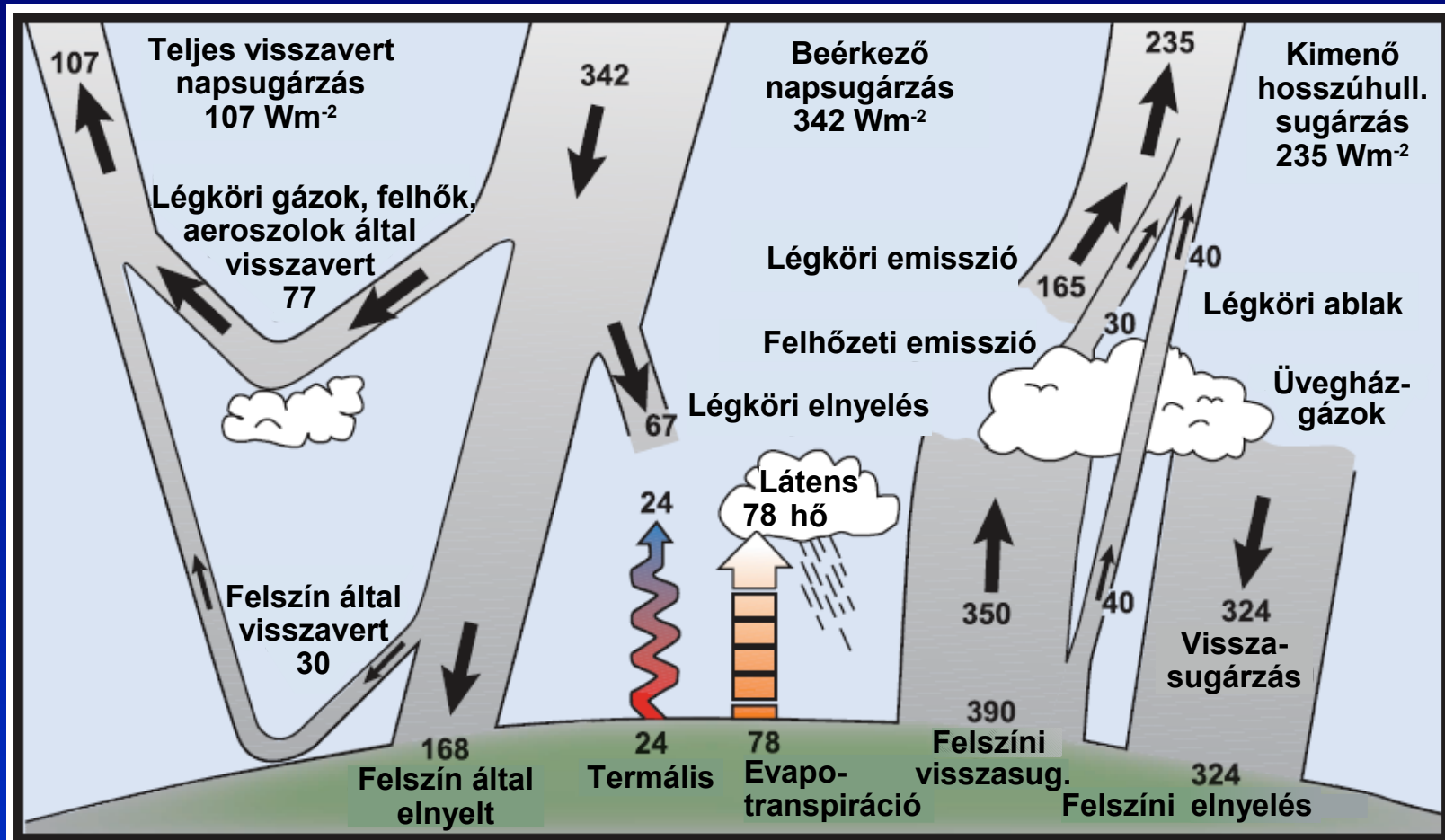
Éghajlat (klíma):

- Az **éghajlati rendszer** (légkör és a vele érintkező geoszférák együttese) hosszú idő folyamán tanúsított **szokásos viselkedése**
- Jellemzése: statisztikai paraméterekkel – vonatkoztatási alap: 30 éves éghajlati átlagok (1961–1990)

Éghajlatalakító tényezők

- *A Nap sugárzása (egyenlőtlen földrajzi eloszlás) → sugárzás-átvitel (korlátos jelleg: a Földön nincs sem nyelő, sem forrás) → → hő, infravörös sugárzás az űrbe*
- *Éghajlatalakító tényezők és ezekhez való igazodás:*
 - *Napsugárzás intenzitásának módosulása*
 - *Sugárzás-átvitel feltételeinek módosulása*
 - *Felszínközeli energiabevétel módosulása*

Az éghajlati rendszer globális évi átlagos energiaegyensúlya



Hőegyenleg = hőbevitel – hőleadás (=0)

- *Hőegyenleg megváltozása → sugárzási kényszer (tropopauza)*
 - *Külső kényszerek: természetes (pl. a napsugárzás változása, vulkánkitörés) és antropogén*
 - *Belső éghajlatalakító mechanizmus – egyensúlyra való törekvés*
- *Ehhez történő igazodás – eltérő igazodási idők*
- *Az összetevők között kölcsönhatások vannak (öngerjesztő – pozitív, csillapító – negatív)*

Visszacsatolások

- A klímaállapot természetes változékonyságát idézik elő

- *Hőmérséklet–jég–albedó* visszacsatolás:



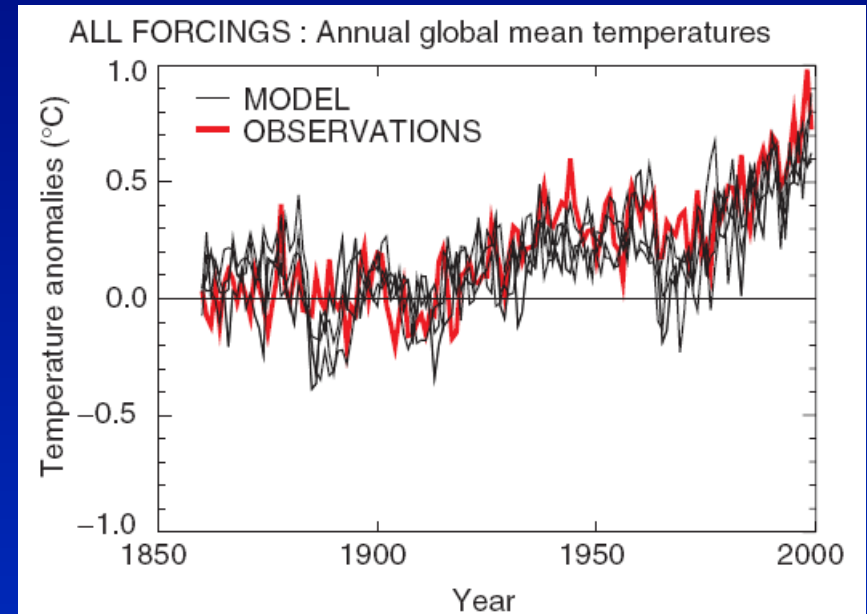
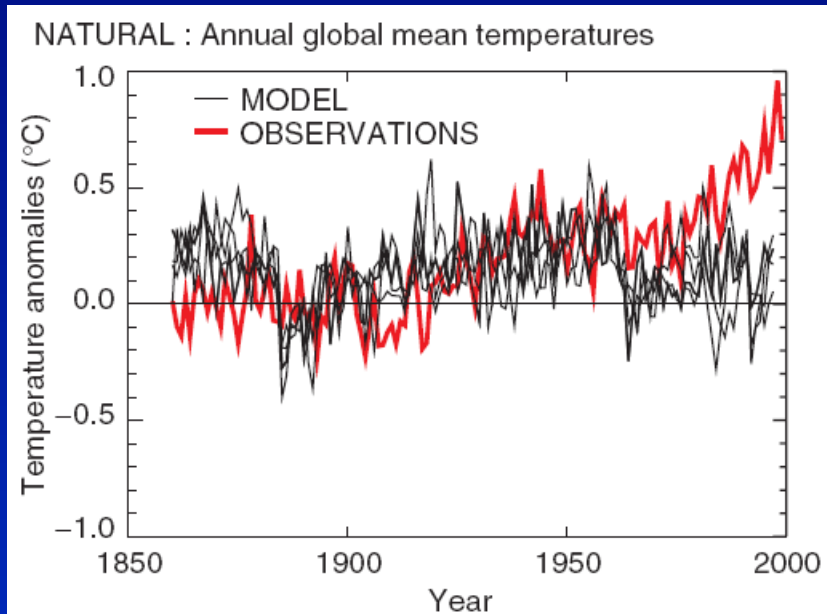
*felszíni hőmérsékletcsökkenés → jégtakaró növekedése
→ visszaverődés növekedése*

- *Felhőzet–sugárzás* visszacsatolás:



negatív visszacsatolás: a felhők inkább hűtenek, mint fűtenek

Kérdés: a felszíni hőmérséklet emelkedése még a szabad belső változékonyságon belül van vagy már az antropogén kényszer hatása?



Forrás: IPCC, 2001

TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

Éghajlati modellezés

- *Az éghajlati rendszer, illetve a rendszer összetevőinek tanulmányozására, s az összetevők közötti kölcsönhatások elemzésére*
- *A természetes klímaváltozékonyság oksági megismerése*
- *Egyetlen **objektív** válaszadási lehetőség az alábbi kérdésre: miként reagál az éghajlat egy feltételezett antropogén kényszerre?*

Numerikus modellezés

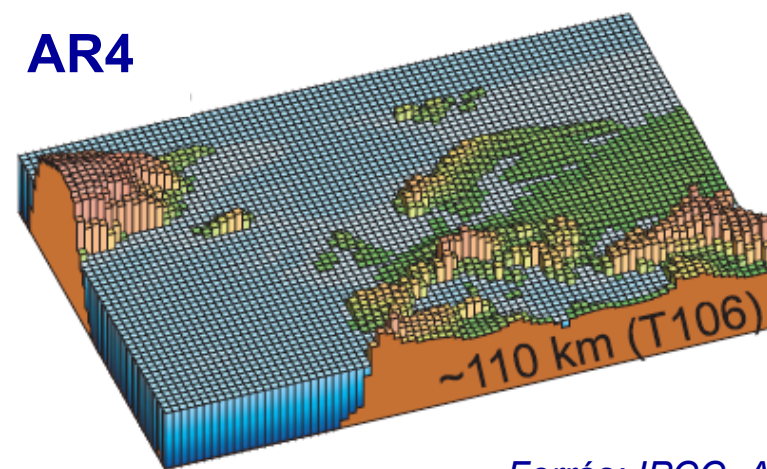
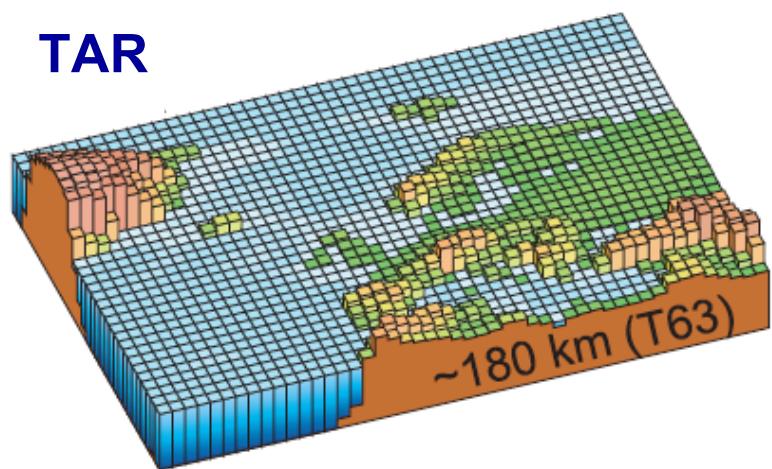
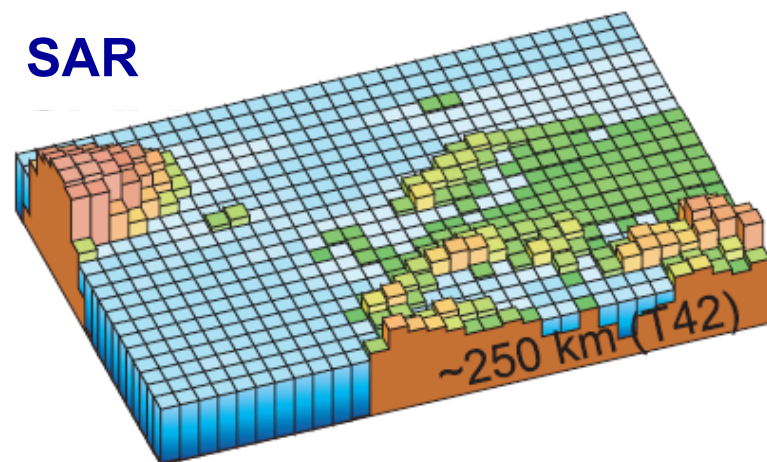
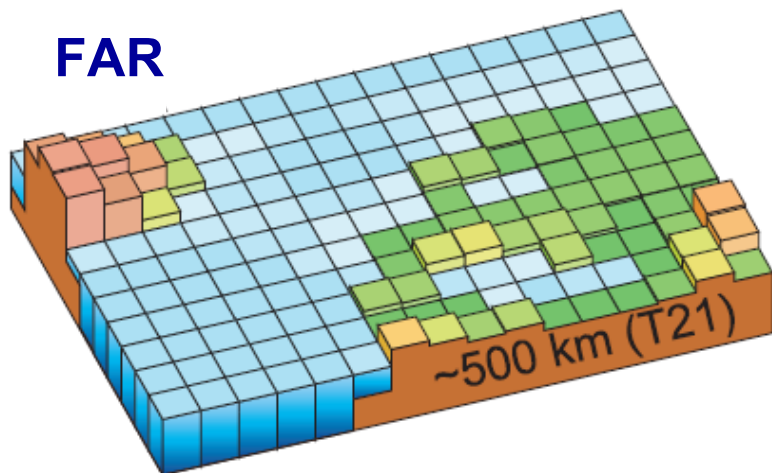
- *A légkörben (óceánban) zajló folyamatok fizikai törvényeknek engedelmeskednek, pl. Newton-törvények, energia-megmaradás, tömeg-megmaradás*
- *Hidro-termodinamikai egyenletrendszer*



Nemlineáris parciális differenciál-egyenlet rendszer

- *Vegyes feladat: kezdeti- és peremfeltétel probléma*
- *Analitikus megoldás hiányában numerikus módszerek → diszkrét egyenletek*

A globális éghajlati modellek felbontás-változása

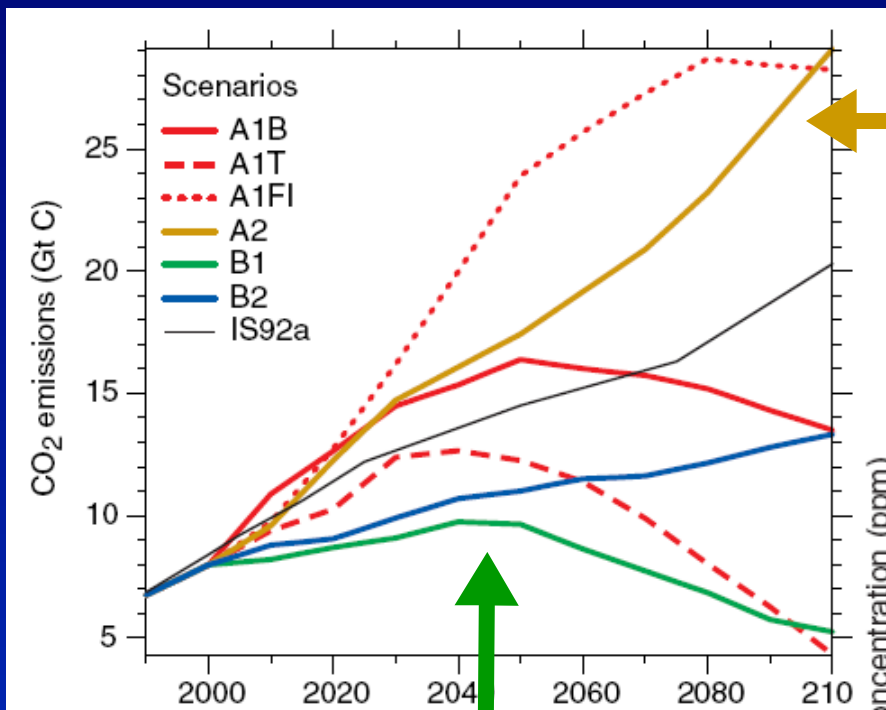


Forrás: IPCC, AR4

Globális éghajlati modellek alkalmazása

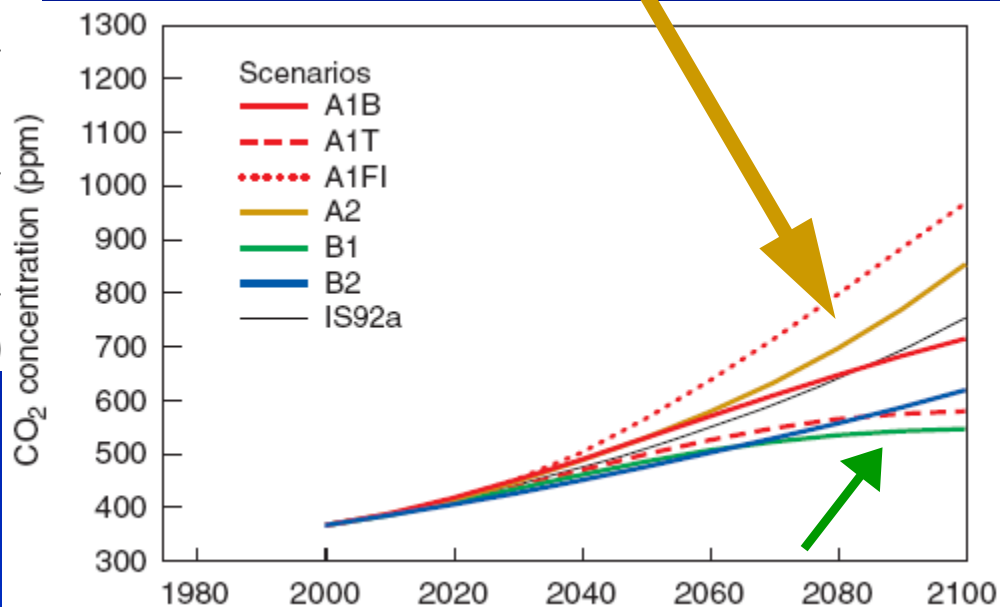
- Éghajlati *forгатókönyvek* az üvegházgáz-kibocsátás és koncentráció alakulására
- *Projekciók* készítése globális modellek segítségével az egész Föld éghajlatára vonatkozóan a forгатókönyvek felhasználásával
- Változások mértékének meghatározása egy referencia-időszakhoz képest

Szén-dioxid kibocsátásra és a koncentráció változására vonatkozó forgatókönyvek

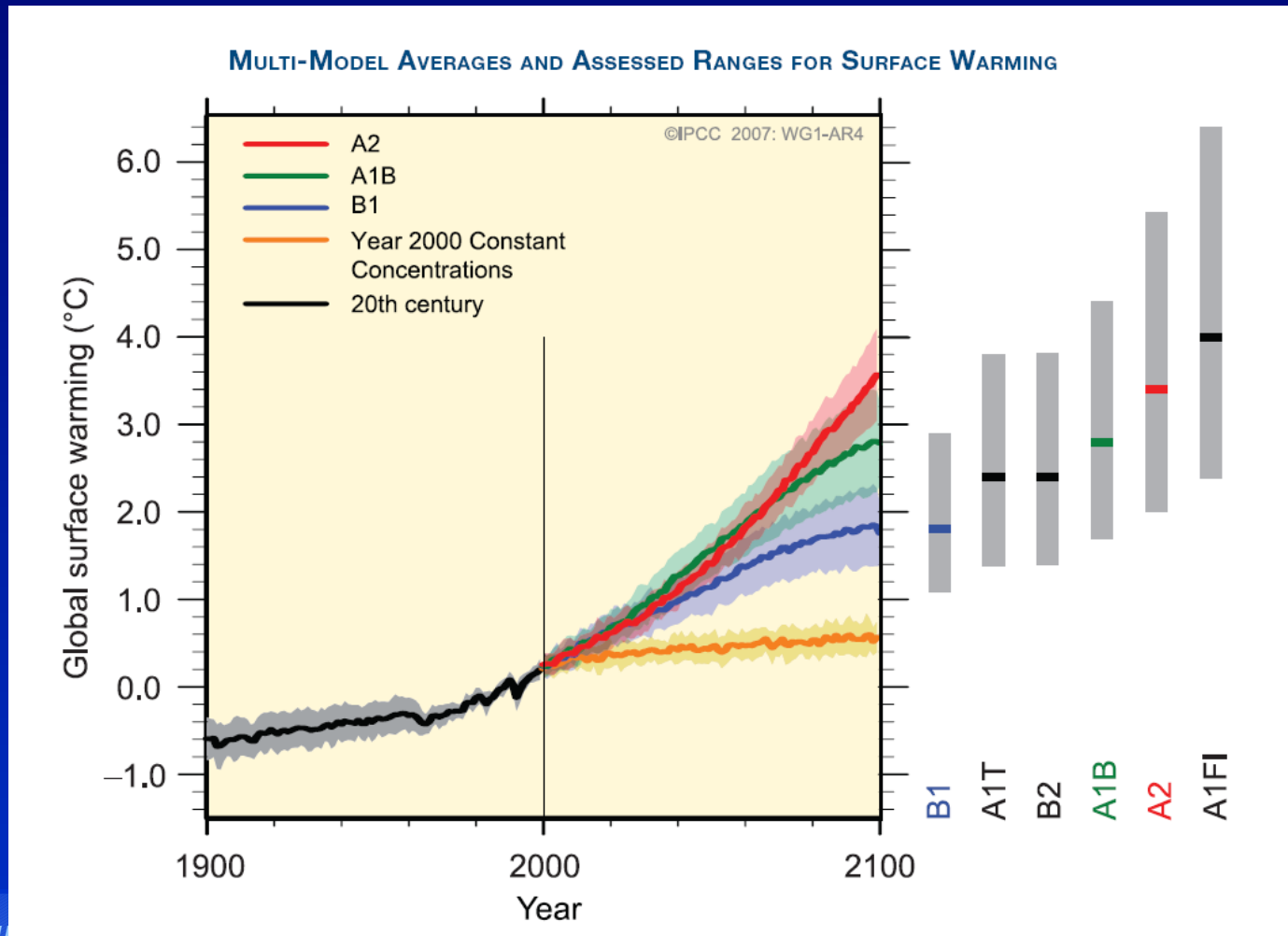


Forrás: IPCC, 2001

optimista



A modellek által jelzett globális hőmérsékletváltozás



Regionális sajátosságok

- *A regionális antropogén klímaváltozás oka nem a globális melegedés: külső kényszerek megváltozása – módosult légköri és óceáni cirkuláció – új klímaállapot*
- *Globális modellek: 250-100 km-es horizontális és 1 km-es vertikális felbontás – planetáris skálájú előrejelzések*
- *Regionalizációs technikák: globális előrejelzések régiókra történő leskálázása*
 1. *Empirikus statisztikai leskálázások*
 2. *Nagy vagy változó felbontású globális modellek*
 3. *Regionális modellek*

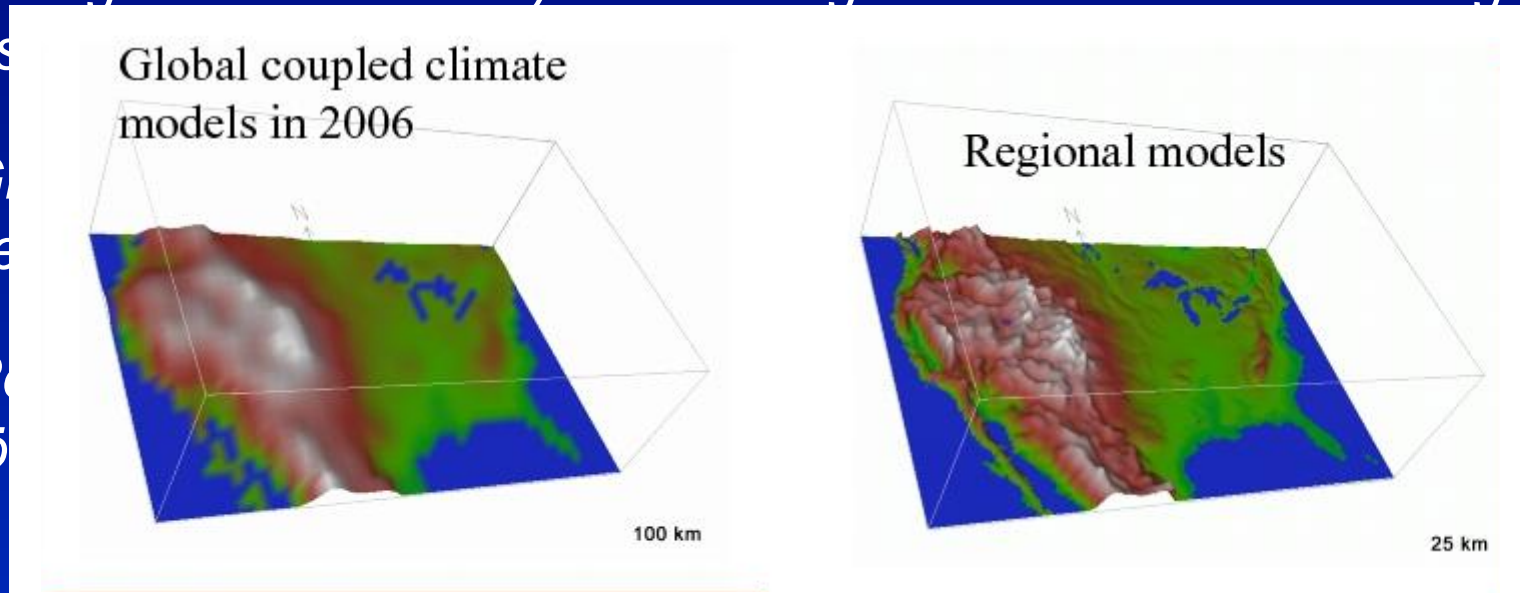
Regionális sajátosságok

- A regionális antropogén klímaváltozás oka nem a globális melegedés: külső kényszerek megváltozása – módosult légköri

és

- G
- ve

- R
- tő



2. Nagy vagy változó felbontású globális modellek
3. Regionális modellek

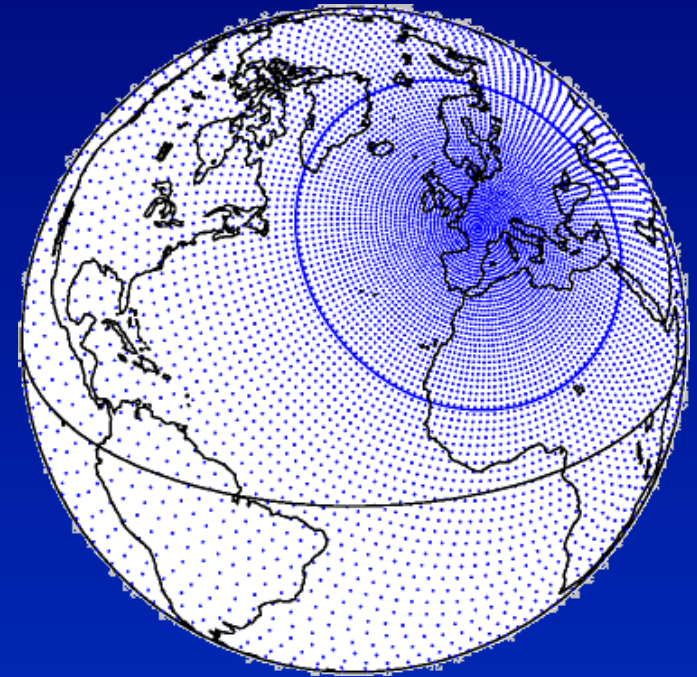
Regionalizációs technikák

1. Empirikus statisztikai leskálázási eljárások

- *A regionális éghajlatot meghatározó tényezők: nagytérségű klíma, a felszín regionális fizikai és földrajzi sajátosságai*
- *Statisztikai kapcsolat a nagytérségű és a regionális éghajlat között*
- *Globális előrejelzésekből a fenti statisztikák alapján regionális előrejelzések származtatása*
- *Korlát: a múltbeli adatokon számolt statisztikai kapcsolatok nem feltétlenül lesznek érvényesek a jövőre nézve*

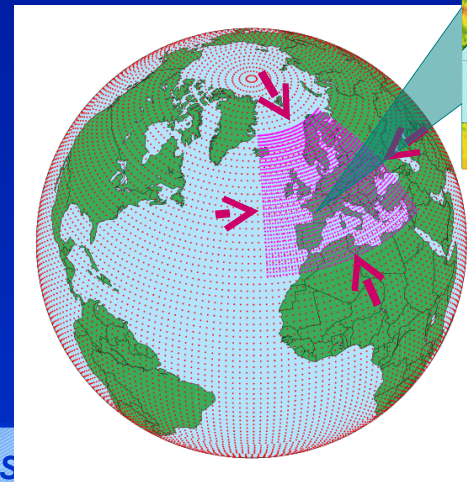
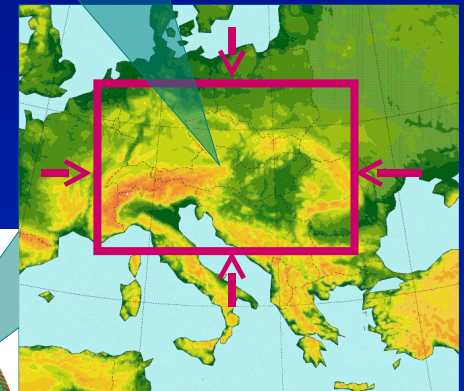
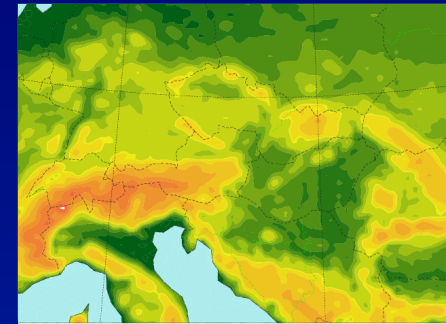
2. Nagy vagy változó felbontású globális modellek

- *Egész Földre vonatkozó előrejelzés*
- *A túl nagy felbontásnak határt szab a számítógépes kapacitás*
- *Változó felbontású modelleknél:*
 - *túl nagy felbontás-eltérés nem lehetséges,*
 - *az eltérő felbontású tartományoknál esetenként különböző fizikai parametrizáció használata*



3. Regionális (korlátos tartományú) modellek

- *Több fizikai folyamat explicit (és ezzel pontosabb) leírása*
- *A domborzat (és egyéb felszíni jellemzők) pontosabb figyelembevétele*
- *Szélsőséges jelenségek megbízhatóbb szimulálása*
- *Oldalsó határfeltételek problémaköre*
- *Számításigény*



TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

Nemzetközi klímadinamikai kutatások

PRUDENCE – <http://prudence.dmi.dk>

- A Dán Meteorológia Intézet koordinálásával (2001–2004)
- 9 európai ország részvételével 21 partner
- Célja: az éghajlat-változás **bizonytalanságának** és regionális **részleteinek** feltárása regionális modellek segítségével
- Módszer: 300 km AOGCM + 150 km GCM – **50 km RCM**
- Szimulációk: 1961–1990 (validáció), **2071–2100** (A2, B2)

ENSEMBLES – <http://ensembles-eu.metoffice.com>

- *Az EU által finanszírozott ötéves projekt (2004–2009)*
- *Célja:*
 - *Ensemble rendszer: globális és nagy – 25 km-es – felbontású regionális klímamodellek, valószínűségi előrejelzés a jövőbeni éghajlat bizonytalanságára*
 - *Az éghajlati előrejelzésekben meglévő bizonytalanság csökkentése: regionális klímamodellek fejlesztése, valamint jó minőségű rácsponti megfigyelési adatbázissal történő validáció Európa területére*
- *Több, mint 70 partner (EU, Ausztrália, Egyesült Államok)*

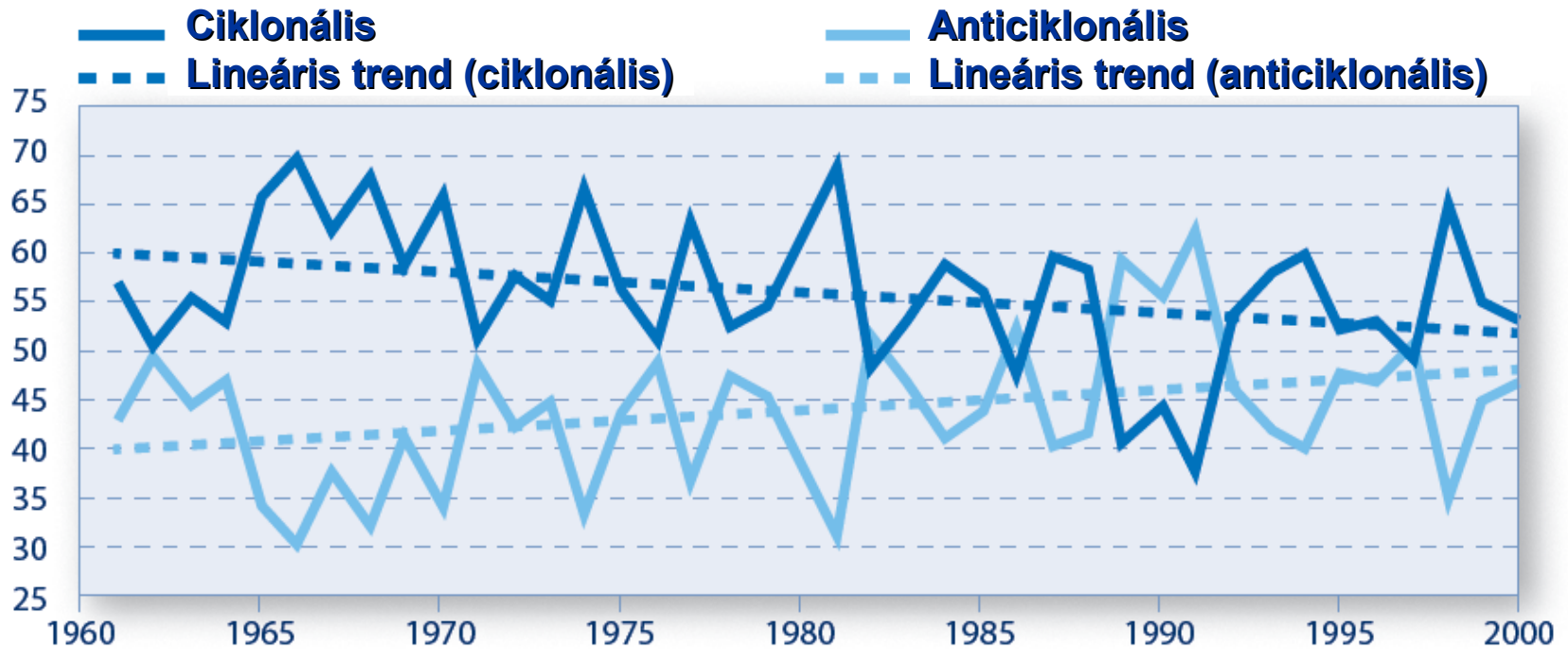
Hazai klímadinamikai kutatások

- *Előzmények:*
 - 2003. Dörgicse, vitanap: klímadinamikai program gondolata
 - Kutatásokat megalapozó összefoglaló dokumentum
 - 2004. MTB által kezdeményezett kerekasztal megbeszélés
- **Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Programok (2005–2007)**
- **CECILIA**: Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment (2006–2009)
- **CLAVIER**: CLimate ChAnge and Variability: Impact on Central and Eastern Europe (2006–2009)
- *Alkalmazás: Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia*

Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Programok

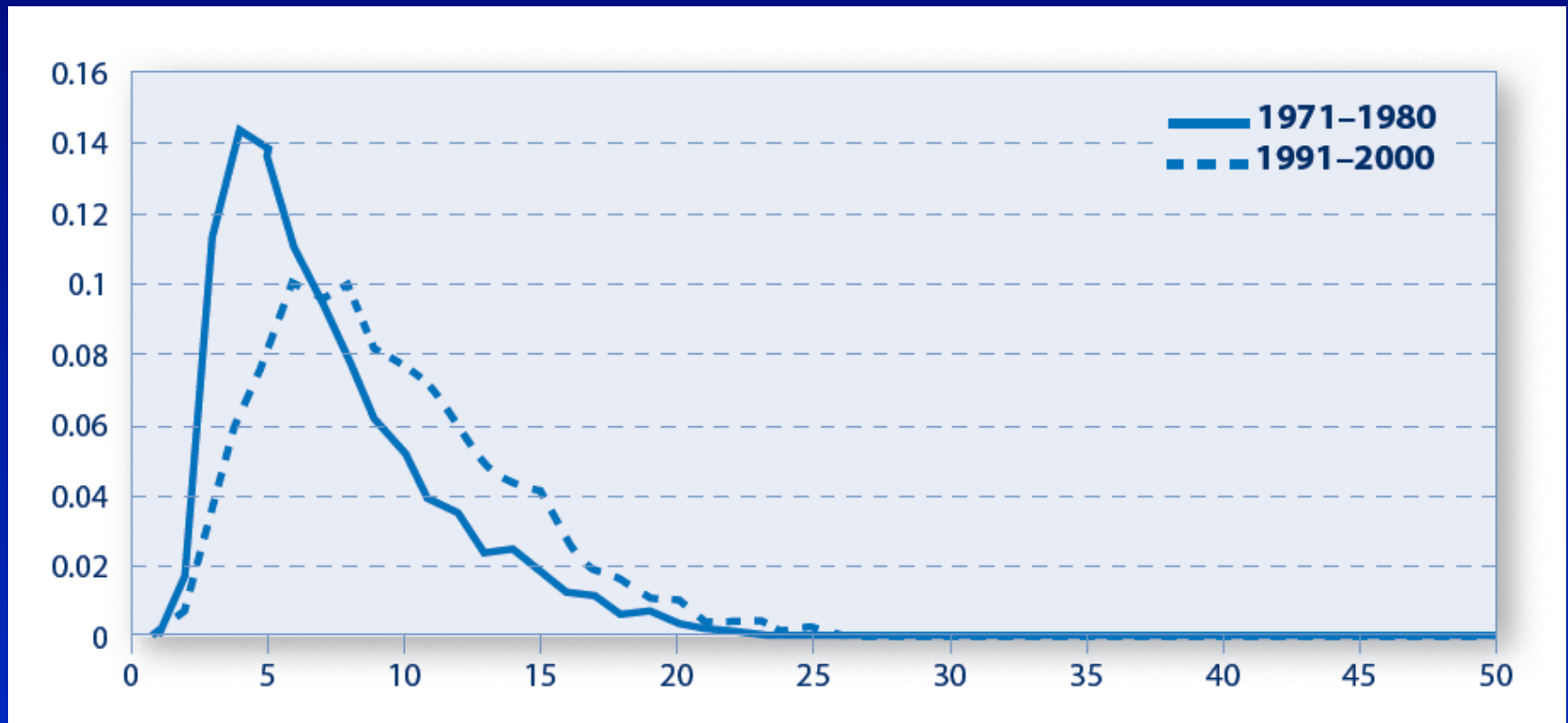
- *Cím: Magyarország éghajlatának dinamikai vizsgálata, és a numerikus modelleken alapuló regionális klíma-előrejelzések módszertanának megalapozása*
- *Partnerek: OMSZ, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Pécsi Tudományegyetem, Env-in-Cent Környezetvédelmi és Tanácsadó Iroda*
- *A kutatás célja:*
 - *a múlt dinamikus meteorológiai vizsgálata,*
 - *regionális klímamodellek adaptálása és fejlesztése: ALADIN/Climate, REMO, PRECIS (25 km-es kísérletek)*
- *Honlap: http://www.met.hu/palyazat/nkfp_klima2005.php*

A múlt szinoptikus-klimatológiai vizsgálata – cirkulációs típusok gyakoriságának változása



Forrás: Hirsch Tamás

A múlt szinoptikus-klimatológiai vizsgálata – a megfigyelt napi maximális szélökések relatív gyakorisága Budapest állomáson



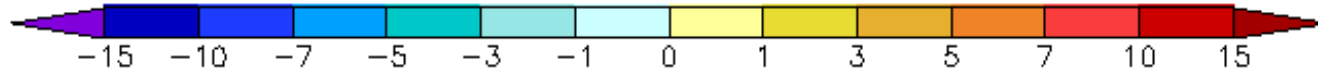
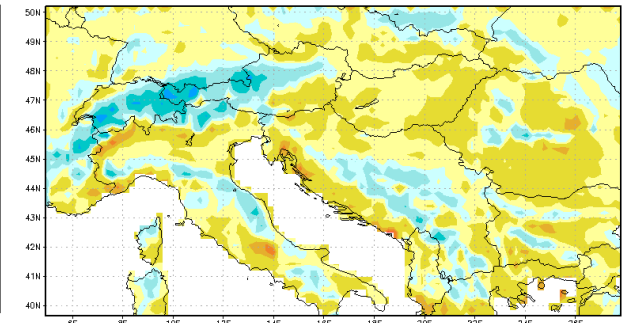
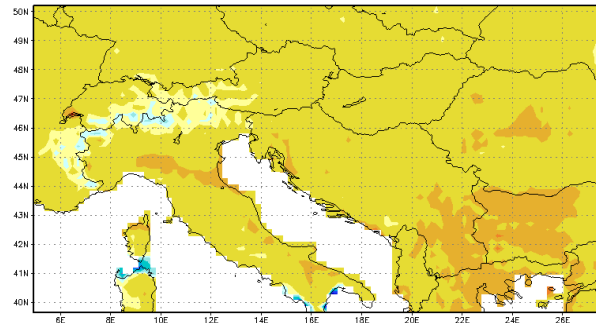
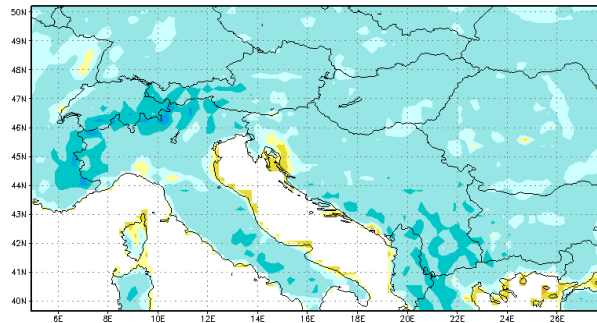
Forrás: Hirsch Tamás

Regionális klímamodellek múltra vonatkozó tesztelése – a három adaptált klímamodell eredményeinek összevetése: átlaghőmérséklet (°C)

ALADIN

REMO

PRECIS



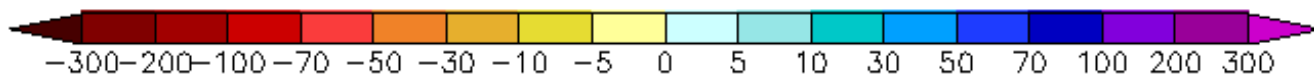
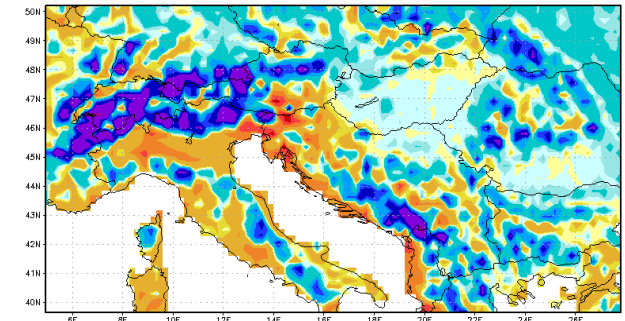
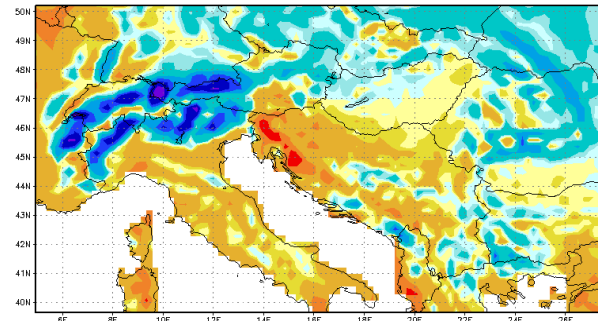
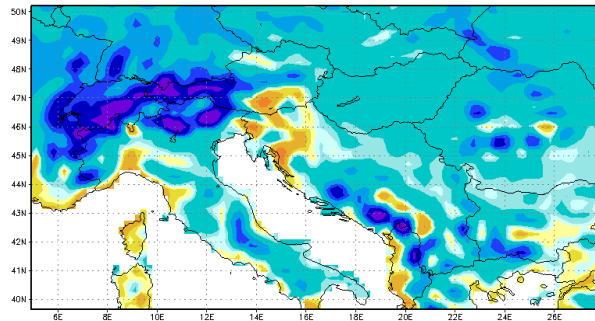
Időszak: 1961–1990

Regionális klímamodellek múltra vonatkozó tesztelése – a három adaptált klímamodell eredményeinek összevetése: csapadékátlag (mm/hónap)

ALADIN

REMO

PRECIS

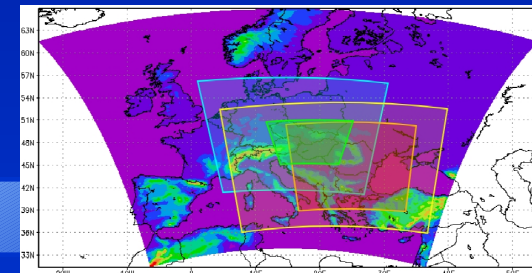


Időszak: 1961–1990



– **EU-projekt** – <http://www.cecilia-eu.org>

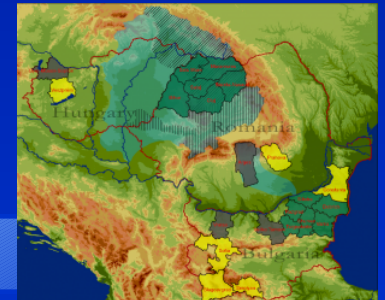
- A projektet a prágai Károly Egyetem koordinálja
- A kutatás célja:
 - Regionális klímamodellek fejlesztése (ALADIN/Climate, RegCM),
 - Finom – **10 km-es** – felbontású éghajlati szimulációk készítése három időszakra: 1961–1990, **2021–2050**, 2071–2100,
 - A szélsőségek tendenciáinak vizsgálata,
 - Hatástanulmányok





– **EU-projekt** – <http://www.clavier-eu.org>

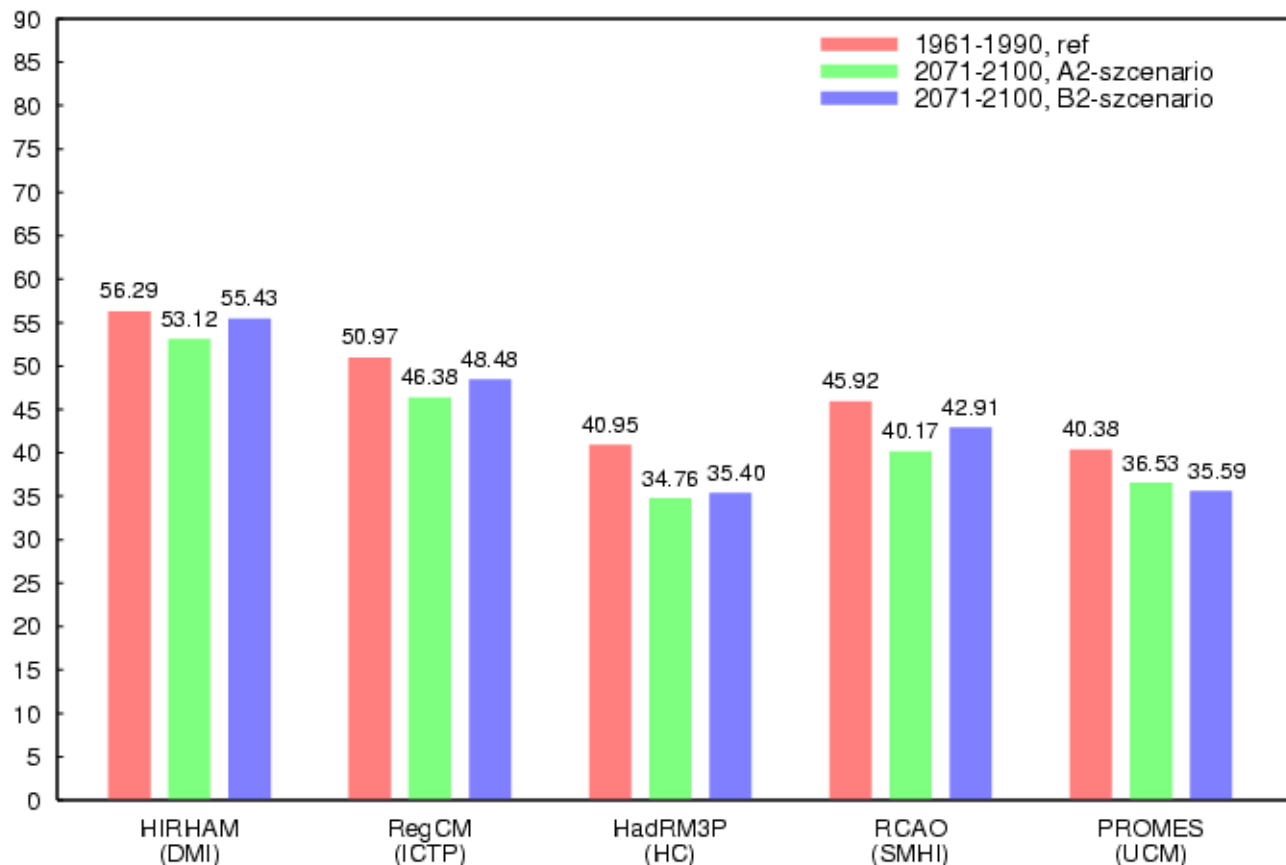
- *A projektet a hamburgi Max Planck Intézet koordinálja, az OMSZ társkoordinátor*
- *A kutatás célja:*
 - *Regionális klímamodellek fejlesztése – REMO, LMDZ,*
 - *Finom – 25 és 10 km-es – felbontású éghajlati szimulációk készítése az 1951–2050 időszakra,*
 - *A múlt és a modellek által előrevetített jövő dinamikus meteorológiai vizsgálata,*
 - *Hatástanulmányok*



Alkalmazás

- *2006 ősze: részvétel a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia összeállításában*
- *Cél: adatok, információk az éghajlatváltozás hatásaival foglalkozó szakemberek számára (pl. építészet, erdészet, egészségügy, katasztrófavédelem területén)*
- *A regionális modelleredmények fontossága – kis szelet*
- *A stratégia jelenleg még csak a **nemzetközi** projektek eredményeire tud támaszkodni – PRUDENCE projekt*
- *Partner: ELTE TTK Meteorológiai Tanszéke*

Nemzeti Éghajlatváltózási Stratégia – csapadék- és hőmérsékleti szélsőségek változása

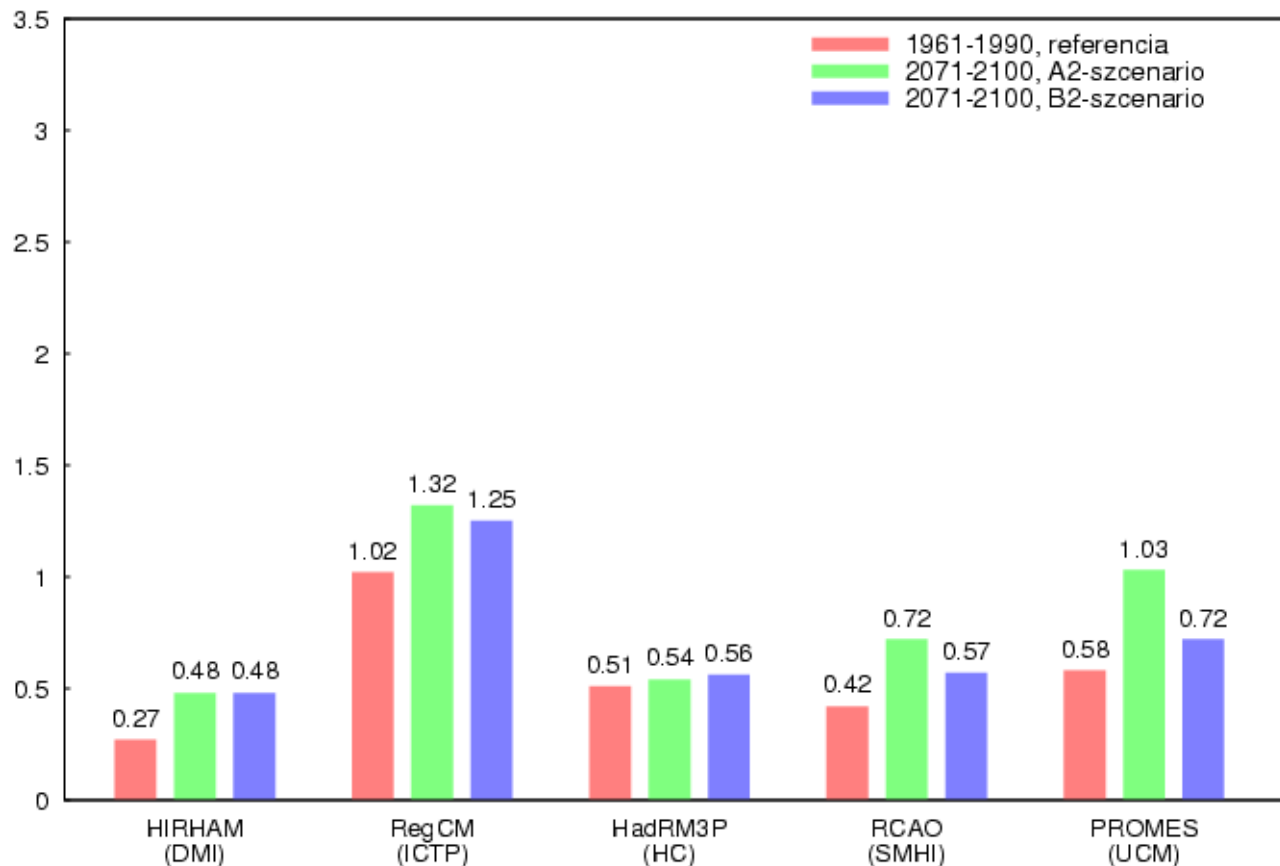


csapadék- tozása

Racsponтонkent 0.1 mm/nap kuszoberteket meghalado csapadekesemeny relativ gyakorisaga (%)
Terulet: Delkelet-Magyarország



Racsponтонkent 20 mm/nap kuszoberteket meghalado csapadekesemeny relativ gyakorisaga (%)
Terulet: Delkelet-Magyarország



ék-

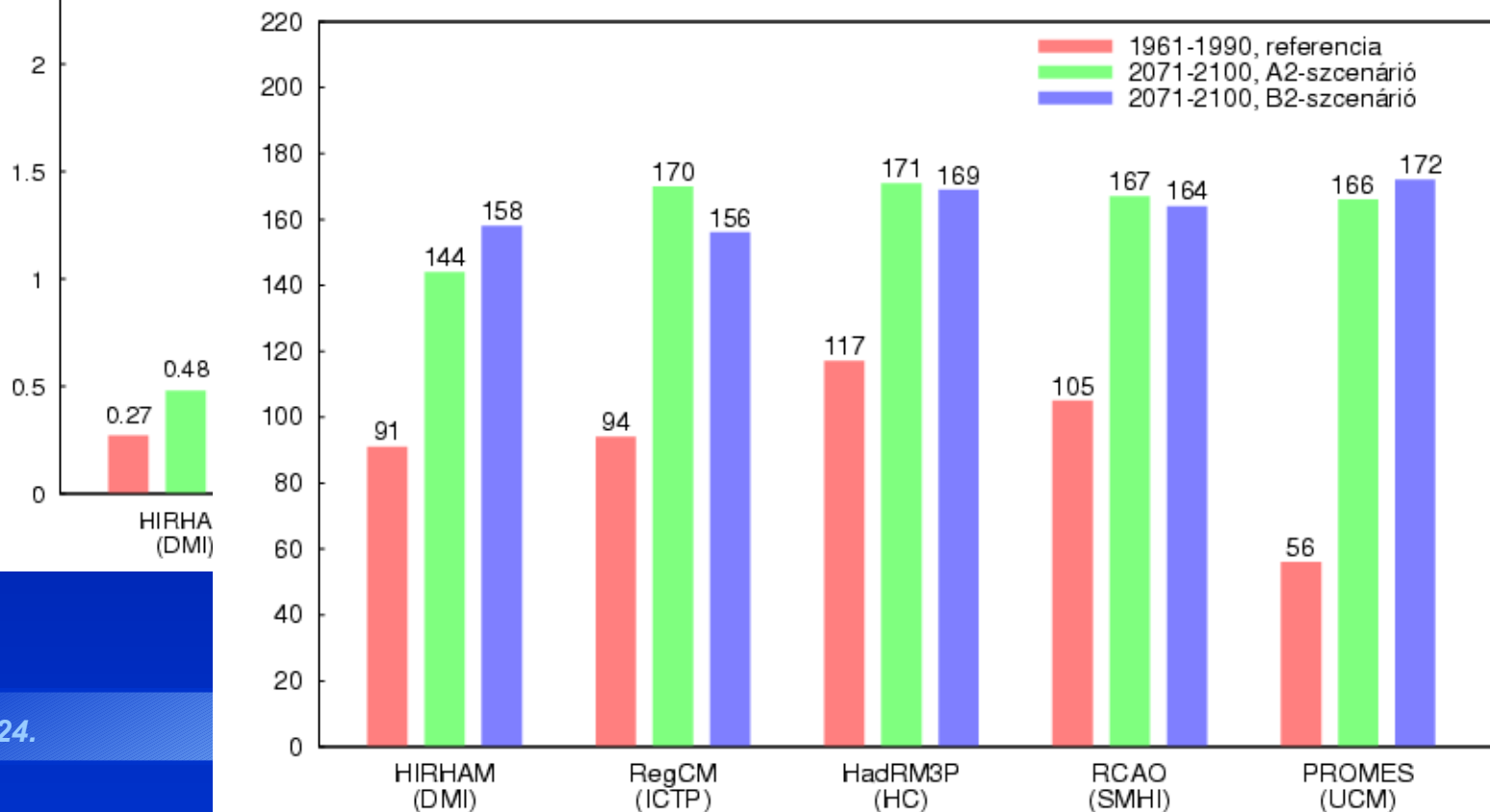
Racsponтонkent 0.1 mm/nap kuszoberteket meghalado csapadekesemeny relativ gyakorisaga (%)
Terulet: Delkelet-Magyarország



Racsponтонkent 20 mm/nap kuszoberteket meghalado csapadekesemeny relativ gyakorisaga (%)
Terulet: Delkelet-Magyarország



Höhullám átlagos előfordulásának változása (esemény/időszak)
(Höhullám: legalább 3 egymást követő napon T_át>25)
Terület: Magyarország



A reklám helye I.

- *Regionális klímamodellezési workshop*
- *Téma:*
 - *Európai projektek: CECILIA, CLAVIER, PRUDENCE, ENSEMBLES*
 - *Alkalmazott regionális éghajlati modellek tesztelése*
 - *Szélsőségek*
 - *Hatásvizsgálatok*
- *Időpont: 2008. február 4–6.*
- *Helyszín: Országos Meteorológiai Szolgálat*

Minden érdeklődőt szeretettel várunk!

A reklám helye II.

- *Klímadinamikai kiadvány*
- *Cél:*
 - *Klímadinamikai tevékenység bemutatása*
 - *Tudományos ismeretterjesztés*



TARTALOM

- ***Bevezetés***
- ***Globális trendek (IPCC)***
- ***Az éghajlati rendszer***
- ***Az éghajlati modellezés alapjai***
- ***Regionális klímamodellezés***
- ***Összefoglalás***

Összefoglalás

- *Az éghajlati rendszer rendkívül bonyolult és összetett – spekulatív módon történő jellemzésére nincs mód*
- *Az egyetlen objektív lehetőség az éghajlati rendszer folyamatai között fennálló ok-okozati összefüggések megismerésére és jövőbeli alakulásuk becslésére annak modellezése*
- *A (regionális) éghajlati modellezés még számos kérdést és megoldásra váró problémát tartogat*

Mai tudásunk szerint

- *A globális átlaghőmérséklet emelkedése*
- *Régiónként a globális iránytól eltérő tendenciák lehetnek*
- *A Kárpát-medencére:*
 - *hőmérsékleti melegedés: melegebb nyár, enyhébb tél*
 - *csapadék éven belüli eloszlásának változása (nyári csökkenés, téli növekedés),*
 - *az extrém csapadékesemények gyakoriságának várható növekedése*
 - *hőmérsékleti szélsőségek: melegedő tendencia*

Köszönöm a figyelmet!